

ผลของการควั่นกิ่ง ปุ๋ยทางใบ และสารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินต่อการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนพืชที่สัมพันธ์กับการออกดอกของลิ้นจี่พันธุ์ฮวงฮวยบนพื้นที่สูง

Effects of Girdling, Foliar Fertilizer and Gibberellin Biosynthesis Inhibitors on Changes of Plant Hormones Relating to Flowering of Lychee cv. Hong Huay on Highland

นุดี เจริญกิจ^{1,2} กรวรรณ ศรีงาม³ พิทยา สรวมศิริ¹ และ ดรุณี นภาพรม^{1*}

Nudee Charoenkit^{1,2}, Korawan Sringarm³, Pittaya Sruamsiri¹ and Daruni Naphrom^{1*}

¹ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

¹Department of Plant Science and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

²ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนานวัตกรรมศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ 10900

²Center of Excellence on Agricultural Biotechnology: (AG-BIO/PERDO-CHE), Bangkok 10900, Thailand

³ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

³Department of Animal and Aquatic Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

*Corresponding author: Email: dnaphrom@gmail.com

(Received: 9 October 2017; Accepted: 5 January 2018)

Abstract: The study aims to compare the effect of two gibberellin biosynthesis inhibitors; paclobutrazol and mepiquat chloride on flowering of lychee plants grown on highland (1200 masl) in Chiang Mai province and to analyze the hormonal changes during flower bud development. The experiment was conducted during March to July 2013 with completely randomized design (CRD) consisting of 5 treatments and 5 replications, whereas 1 tree per replication was used. The treatments in this study were 1) control (no treatment), 2) girdling plus foliar fertilizer (0-52-34) at 1% and ethephon at 400 mg/l; 3) girdling plus foliar fertilizer (0-52-34) with ethephon, and paclobutrazol at 3000 mg/l, 4) girdling plus foliar fertilizer (0-52-34) with ethephon, and mepiquat chloride at 2500 mg/l, 5) girdling plus foliar fertilizer (0-52-34) with a combination of ethephon, paclobutrazol, and mepiquat chloride. The result showed that treatment 5 (the combination of girdling plus foliar fertilizer (0-52-34), ethephon, paclobutrazol, and mepiquat chloride) gave the highest percentage of flowering even under warm temperature of July. The treatment could inhibit flushing, decrease auxin accumulation, but promote biosynthesis and transportation of cytokinins (iP/iPA and Z/Zr) in leaves and apical buds, which consequently induce flowering.

Keywords: Lychee, flower induction, ELISA, auxin, cytokinins

บทคัดย่อ: ดำเนินการวิจัยทดสอบการใช้สารยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลิน 2 ชนิด คือ พาโคลบิวทราโซล และ เมพิควอทคลอไรด์ เพื่อช่วยให้ต้นลิ้นจี่ออกดอกแม้เมื่อสภาพความหนาวเย็นของอากาศไม่เพียงพอ โดยศึกษากับต้นลิ้นจี่พันธุ์สูง-ฮวย ปลูกบนพื้นที่สูง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ โดยให้ 1 ต้น เป็น 1 ซ้ำ ดังนี้ 1) ควบคุม (control) 2) ควั่นกิ่งร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทธิฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร 3) ควั่นกิ่งร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ผสมเอทธิฟอน และพาโคลบิวทราโซล 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 4) ควั่นกิ่งร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ผสมเอทธิฟอน และเมพิควอทคลอไรด์ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5) ควั่นกิ่งร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ผสมเอทธิฟอน พาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ พบว่ากรรมวิธีที่ 5 (ควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ผสมเอทธิฟอน พาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์) ให้ผลดีที่สุดในการส่งเสริมการออกดอกของลิ้นจี่ได้ในเดือนกรกฎาคมแม้อุณหภูมิอากาศจะไม่หนาวเย็น โดยกรรมวิธีดังกล่าวสามารถชะลอการผลิยอดใหม่ ลดการสังเคราะห์และสะสมออกซิน ในขณะที่ส่งเสริมการสร้างและเคลื่อนย้ายไซโตไคนินรูป iP/PA และรูป Z/Zr ที่ใบและตายอดให้เพิ่มสูงขึ้น น่าจะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดในการส่งเสริมการเปลี่ยนตายอดจากตาใบไปตายอดและพัฒนาไปเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ได้

คำสำคัญ: ลิ้นจี่ การชักนำการออกดอก ELISA ออกซิน ไซโตไคนิน

คำนำ

สภาวะโลกร้อนกำลังส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมของการออกดอกของลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn.) ที่โดยปกติจะต้องการอุณหภูมิต่ำกว่า 17 องศาเซลเซียสต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 39 วัน หรือ 4 สัปดาห์ เป็นอย่างน้อย จึงจะสามารถออกดอกได้ดี (Chen *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2015) ด้วยเหตุนี้เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำไม่เพียงพอลิ้นจี่จึงประสบปัญหาการออกดอกไม่สม่ำเสมอหรือไม่ออกดอกเลย จากการศึกษาในระยะที่ผ่านมาเพื่อชักนำการออกดอกของลิ้นจี่แม้ในสภาวะอากาศไม่เหมาะสม การควั่นกิ่ง และการพ่นทางใบด้วยปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เช่น 0-52-34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับเอทธิฟอน 400-800 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถส่งเสริมการออกดอกของลิ้นจี่ที่ปลูกในพื้นที่ภูเขาได้ แต่ยังคงต้องการอากาศเย็นร่วมด้วย (นุติ และพิทยา, 2554; อรทัย และคณะ, 2555) อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกตามที่เป็นอยู่ในปัจจุบันนี้ สภาวะอุณหภูมิต่ำที่จะช่วยเสริมประสิทธิภาพให้กับการควั่นกิ่งและการพ่นปุ๋ยผสมเอทธิฟอนดังกล่าวข้างต้น ดูเหมือนจะเป็นความไม่แน่นอนของการทำสวนลิ้นจี่ต่อไป จึงควรที่จะได้ศึกษาหาแนวทาง

แก้ไขเพิ่มเติมต่อไปอีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สารที่ช่วยยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ที่มีรายงานความสำเร็จในการส่งเสริมการออกดอกในมะม่วง และในไม้ผลหลายชนิดในไทย (ธัญวรรณ์ และดรณี, 2559; Moreira *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2016)

ในเชิงสรีรวิทยาพืช สารเหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฮอร์โมนพืชในช่วงการพัฒนาตายอดไปเป็นตาดอก ที่สำคัญ ได้แก่ สารในกลุ่มออกซิน (Indole-3-acetic acid, IAA) กลุ่มจิบเบอเรลลิน (GA_3) และกลุ่มไซโตไคนิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง zeatin/zeatin riboside (Z/Zr) และ N^6 (Δ^2 -Isopentenyl) adenine N^6 (Δ^2 -Isopentenyl) adenosine (iP/iPA) โดยกลุ่มออกซิน (IAA) และกลุ่มจิบเบอเรลลิน (GA_3) มีผลยับยั้งการพัฒนาตาดอก ในขณะที่การพัฒนาตาดอกจะเกิดได้ดีเมื่อตายอดสะสมสารกลุ่ม Z/Zr และ iP/iPA จำนวนมาก (จิราภรณ์ และคณะ, 2560; Charoenkit *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2017) โดย Sringarm *et al.* (2009) และ Potchanasin *et al.* (2009) สรุปว่าการเพิ่มขึ้นของไซโตไคนินกลุ่ม Z/Zr บริเวณตายอดนั้นเกิดจากการเคลื่อนย้าย iP/iPA ออกจากใบเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ โดยเคลื่อนย้ายร่วมกับน้ำตาลจากการสังเคราะห์แสงไปในท่ออาหาร (phloem) จากใบสู่ตายอด ซึ่งต่อมา iP/iPA จะถูกเปลี่ยน

รูปเป็น Z/Zr และสะสมที่ตายอดทำให้ต้นลำไยออกดอกได้
ในกรณีของลินจี่ยังไม่มีการรายงานความสำเร็จ
ในการใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินในการ
กระตุ้นการออกดอกของลินจี่อย่างเป็นรูปธรรม และยัง
ขาดความเข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับความเชื่อมโยงของ
การเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนพืชที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการ
ออกดอก ซึ่งองค์ความรู้ทางสรีรวิทยานี้จะมีประโยชน์
อย่างมากในการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการเพื่อ
ส่งเสริมการออกดอกอย่างสม่ำเสมอของลินจี่ในแปลง
ปลูกภายใต้สภาวะความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของ
ภูมิอากาศของโลกในระยะยาวต่อไปได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมพืชทดลอง

คัดเลือกต้นลินจี่พันธุ์สูงฮวยอายุ 16 ปี ที่มีขนาด
ทรงพุ่ม 2.5-3 เมตร สูง 2-2.5 เมตร ปลูกบนพื้นที่สูงที่
ระดับความสูง 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ณ แปลง
ทดลองบ้านแม่สาใหม่ ตำบลโป่งแยง อำเภอแม่ริม
จังหวัดเชียงใหม่ แล้วตัดแต่งปลายกิ่งเพื่อกระตุ้นการแตก
ใบอ่อน พร้อมปรับสภาพความเป็นกรดด่างของดินบริเวณ
โคนต้นโดยการหว่านโดโลไมท์ให้ทั่วทรงพุ่มอัตรา 1-1.5
กิโลกรัมต่อต้น จากนั้นประมาณ 15-20 วันหลังจากตัด
แต่งกิ่ง ต้นลินจี่จะเริ่มแตกยอดใหม่ให้บำรุงรักษาต้นพืช
โดยพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (อะบาเม็กติน และอาบี-
ทราซ) และให้ปุ๋ยผสม (46-0-0 : 15-15-15 อัตรา 1:1)
ปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยคอก (มูลวัวแห้ง)
อัตรา 5 กิโลกรัมต่อต้น

2. วิธีการทดลอง

ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนมีนาคม ถึง
เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 โดยเปรียบเทียบผลกระทบ
ของสารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินจำนวน 2 ชนิด ได้แก่
พาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ ร่วมกับการควั่น
กิ่ง และพ่นปุ๋ยใบต่อการออกดอก และการเปลี่ยนแปลง
ฮอร์โมนพืช วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มี
5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ โดยให้ต้นลินจี่ 1 ต้น เป็น 1
ซ้ำ ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (control)
กรรมวิธีที่ 2 ควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-
34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทิล-
ฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (G+F+E)
กรรมวิธีที่ 3 ควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-
34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทิล-
ฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และพาโคล-
บิวทราโซล 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
(G+F+E+P)
กรรมวิธีที่ 4 ควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-
34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทิล-
ฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมพิ-
ควอทคลอไรด์ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร
(G+F+E+M)
กรรมวิธีที่ 5 ควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-
34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทิล-
ฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พาโคลบิว-
ทราโซล 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ
เมพิควอทคลอไรด์ 2,500 มิลลิกรัมต่อ-
ลิตร (G+F+E+P+M)

ควั่นกิ่งพืชทดลองเมื่อใบอ่อนชุดสุดท้ายเข้าสู่
ระยะใบเพสลาด โดยใช้เลื่อยควั่นกิ่งบริเวณที่แตกออกมา
จากกิ่งหลัก และมีส่วนกลมที่สุด ให้พินเลื่อยทะลุเปลือก
ไปถึงเนื้อเยื่อเจริญเท่านั้น (ลึกประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร)
เริ่มทำการพ่นทางใบด้วยสารต่าง ๆ ของแต่ละกรรมวิธี
เมื่อ 17 วัน หลังจากการควั่นกิ่ง และพ่นซ้ำอีกสองครั้ง เว้น
ระยะเวลาแต่ละครั้งห่างกัน 7 วัน

3. การบันทึกผลการทดลอง

3.1) ข้อมูลทางกายภาพ

บันทึกภาพและข้อมูลพฤติกรรมและการเจริญเติบโต
ของใบและตายอดตลอดช่วงการทดลอง สุ่มผูกป้ายที่ยอด
ลินจี่ที่มีขนาด และระยะพัฒนาการของตายอดใกล้เคียง
กัน กรรมวิธีละ 20 ยอดต่อต้น เพื่อติดตามบันทึก
เปอร์เซ็นต์การออกดอก ลักษณะช่อดอก (ช่อดอกล้วน ช่อ
ดอกปนใบ) รวมทั้งศึกษาคุณภาพของช่อดอก (ขนาดช่อ
ดอก จำนวนดอกต่อช่อ และเพศดอก)

3.2) การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของตายอดลันจ์

สุ่มเก็บตัวอย่างตายอดลันจ์จำนวน 5 ยอดต่อต้นในแต่ละกรรมวิธี ในวันที่ 0, 21, 35, 49, 77 และ 91 นับจากวันที่ควั่นกิ่ง จากนั้นนำตัวอย่างไปตายอดแช่ในน้ำยารักษาสภาพ (formalin-acetic acid alcohol, FAA) ทันทีก่อนนำมาตัด section เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของตายอดโดยวิธี paraffin embedding ซึ่งดัดแปลงวิธีการจาก Johansen (1940) และย้อมสีด้วย 1% w/v safranin O ปิด cover slip บนกระจกสไลด์โดยใช้ permount บันทึกภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10x

3.3) การเปลี่ยนแปลงปริมาณฮอร์โมนพืช

(1) สุ่มเก็บตัวอย่างพืชบริเวณตายอด และใบ (ใบประกอบคู่ที่ 1 และ 2) ของแต่ละกรรมวิธีในวันที่ 0, 21, 35, 49, 77 และ 91 นับจากวันที่ควั่นกิ่ง จำนวน 20 ยอดต่อต้น จุ่มตัวอย่างพืชในไนโตรเจนเหลวทันทีเพื่อหยุดกระบวนการเมแทบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช จากนั้นทำตัวอย่างให้แห้งภายใต้ความเย็นจัดโดยใช้ freeze dryer และเก็บรักษาตัวอย่างพืชแห้งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

(2) สกัดฮอร์โมนจากเนื้อเยื่อพืช กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ และทำให้สารละลายที่สกัดได้บริสุทธิ์ (purification) โดยวิธีของ Sringarm (2008)

(3) ตรวจวัดปริมาณฮอร์โมนพืช ได้แก่ ไซโตไคนิน (iP/iPA และ Z/Zr) และออกซิน (IAA) กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ด้วยเทคนิค competitive enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (ปริญญาภรณ์, 2552)

3.4) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ด้วยโปรแกรม Statistix for Windows version 8 (Stat Soft Inc., Tulsa, OK, USA) โดยใช้ least significant difference (LSD) test ที่ระดับความเชื่อมั่น $P \leq 0.05$

ผลการทดลอง

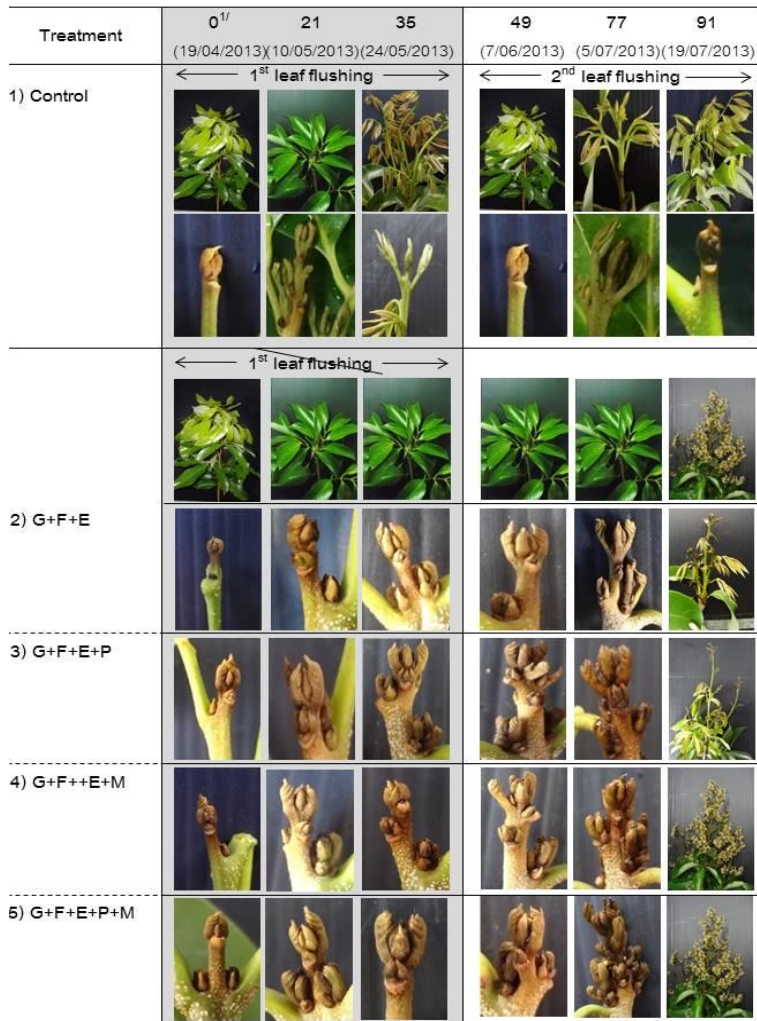
1. ผลกระทบของสารยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลินต่อพฤติกรรมการแตกใบอ่อนและพัฒนาการของตายอด

สำหรับกรรมวิธีควบคุม ซึ่งเป็นกรรมวิธีเดียวที่ไม่มีการควั่นกิ่ง พบว่า ต้นลันจ์จะเริ่มแตกใบอ่อนชุดแรกหลังจากวันที่ควั่นกิ่งต้นลันจ์ในกรรมวิธีอื่น ๆ ได้ 21 วัน และยอดจะพัฒนาจนเป็นใบสมบูรณ์สีแดงในวันที่ 45 หลังจากนั้นจะมีการแตกใบอ่อนครั้งที่สองเมื่อ 77 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะพัฒนาการของตายอด พบว่า ตายอดมีการเจริญเติบโตเป็นตาขนาดเล็กตามปกติและพัฒนาต่อเนื่องตามจังหวะการแตกยอดอ่อน โดยไม่พบว่ามีกาออกรดอก (ภาพที่ 1)

ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 ถึงกรรมวิธีที่ 5 ไม่พบการแตกใบอ่อนหลังการควั่นกิ่ง ใบของทุกยอดจะคงสภาพใบแก่ และหยุดการเจริญเติบโตจนเมื่อ 91 วันหลังควั่น โดยจะมีการแทงช่อดอกให้เห็นชัดเจน ในขณะที่การเจริญเติบโตของตายอดจะเริ่มมีลักษณะบวมใหญ่ขึ้นตั้งแต่เมื่อ 21 วันหลังการควั่นกิ่ง มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อย ๆ และนับจาก 35 วันหลังควั่นกิ่งจะพบการแตกตาข้างจำนวนมาก จากนั้นเมื่อ 77 วันหลังควั่นกิ่งตายอดจะยืดยาวจนเป็นช่อดอกที่มองเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 84-91 หลังควั่นกิ่ง

2. ผลกระทบของสารยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลินต่อพฤติกรรมการออกรดอก

ศึกษาผลกระทบของกรรมวิธีที่ศึกษาต่อพฤติกรรมการออกรดอกใน 3 ประเด็น ได้แก่ จำนวนวันที่ใช้ในการออกรดอก เปอร์เซ็นต์การออกรดอก และคุณภาพของช่อดอก (ตารางที่ 1) พบว่า นอกจากกรรมวิธีที่ 1 ที่ต้นลันจ์ไม่ออกรดอกแล้ว กรรมวิธีที่ 2-5 ใช้เวลาใกล้เคียงกันในการแทงช่อดอก คือ 84-91 วันหลังการควั่น ในส่วนของเปอร์เซ็นต์การออกรดอก พบว่า กรรมวิธีที่ 4 (G+F+E+M) และกรรมวิธีที่ 5 (G+F+E+P+M) สามารถชักนำให้ต้นลันจ์ออกรดอกได้มากที่สุดสูงถึง 76.66-80.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 (G+F+E) และกรรมวิธีที่ 3 (G+F+E+P) มีเปอร์เซ็นต์การออกรดอกเฉลี่ยน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น



^{1/} Days after girdling

Figure 1. Development of apical buds and young shoots of lychee as affected by girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and/or mepiquat chloride

ทั้งนี้จำนวนดอกเฉลี่ยในแต่ละข้อของทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีจำนวนดอกเฉลี่ย 391.22-526.91 ดอก

ในส่วนของคุณภาพของช่อดอก (ตารางที่ 1) พบว่า กรรมวิธีที่ 5 (G+F+E+P+M) มีเปอร์เซ็นต์ช่อดอกที่มีลักษณะเป็นดอกกลั่นมากที่สุด สูงถึง 81.81 เปอร์เซ็นต์ มากกว่ากรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารยับยั้งจิบเบอเรลลินเดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามทุกกรรมวิธีมีขนาดของช่อดอกไม่แตกต่างกัน โดยมีความกว้างเฉลี่ย 11.83-16.15 เซนติเมตร และยาวเฉลี่ย 21.69-25.28 เซนติเมตร

3. ผลกระทบของสารยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลินต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคของตายอด

เมื่อพิจารณาผลของกรรมวิธีศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายวิภาคของตายอดของลิ้นจี่ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา 91 วันหลังจากการควั่น ดังแสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าในขณะที่กรรมวิธีที่ 1 ซึ่งไม่ออกดอกจะไม่พบการสร้างจุดกำเนิดตาดอก (floral primordia) บริเวณตาข้าง (axillary bud) ตลอดระยะเวลา 91 วัน โดยบริเวณเนื้อเยื่อเจริญของกรรมวิธีที่ 1 จะมีลักษณะเป็นแหลม และยืดยาวพัฒนาไปเป็นใบอ่อน ในขณะที่ตายอดของต้นลิ้นจี่ในกรรมวิธีที่ 2-5 มี

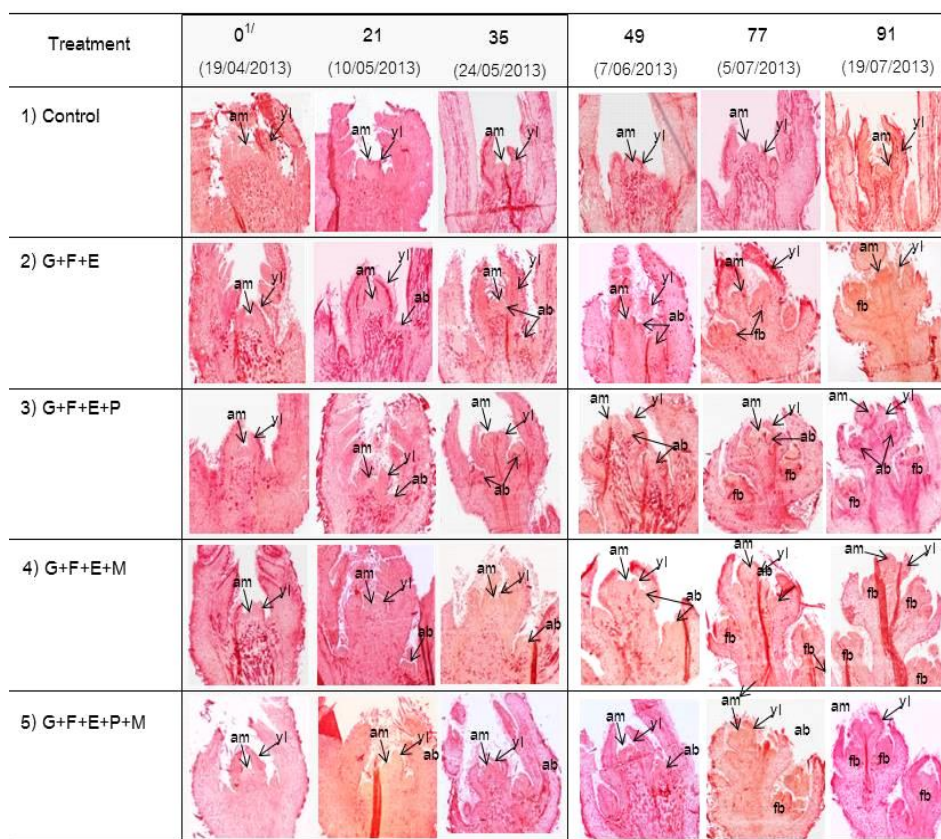
พัฒนาการที่แตกต่างออกไป โดยเริ่มสร้างจุดกำเนิดตา
ดอก ในวันที่ 21 หลังควั่นกิ่ง และเริ่มเห็นจุดกำเนิดตาดอก

ชัดเจนยิ่งขึ้นในวันที่ 35 หลังควั่นกิ่ง จากนั้นจะพัฒนา
อย่างต่อเนื่องจนเป็นช่อดอกในวันที่ 91 หลังควั่นกิ่ง

Table 1. Effect of girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and mepiquat chloride on flowering behavior and quality of flower panicles of lychee

Treatment	Days to flowering (Days)	Flowering (%)	Flower number per panicle	Panicle types (%)		Flower size (cm)	
				Full flower	Leafy flower	Width	Length
Control	No flowering	0 c ¹	0 b	0 d	0 d	0 b	0 b
G+F+E	91	21.33 b	523.11 a	25.83 bc	74.17 ab	14.56 a	21.84 a
G+F+E+P	84	30.00 b	391.22 a	36.54 b	63.35 b	11.83 a	21.69 a
G+F+E+M	84	76.66 a	526.91 a	17.50 c	82.49 a	14.59 a	24.27 a
G+F+E+P+M	84	80.00 a	448.31 a	81.81 a	27.27 c	16.15 a	25.28 a
Significant	-	*	*	*	*	*	*

¹Means with the same letter within column are not significantly different at $P \leq 0.05$ by LSD test



¹/ Days after girdling

Figure 2. Change of buds development as affected by girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and/or mepiquat chloride (ab = axillary bud, am = apical meristem, fb = inflorescence bud, yl = young leaf)

4. ผลกระทบของสารยับยั้งการสร้างจิบเบอเรลลินต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฮอร์โมนพืช

การศึกษาลักษณะของกรรมวิธีศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฮอร์โมนพืช ได้แก่ ออกซิน (IAA) และไซโตไคนิน (iP/iPA และ Z/Zr) ในเนื้อเยื่อใบและตายอดของลิ้นจี่ ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยเน้นเฉพาะตั้งแต่เริ่มการทดลอง (วันที่ 0 หลังควั่นกิ่ง) ไปจนถึงระยะเมื่อเริ่มพบการเปลี่ยนแปลงตายอดไปเป็นตาดอก คือ วันที่ 21, 35 และ 49 หลังควั่นกิ่ง ซึ่งจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณฮอร์โมนพืชในแต่ละช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของตาดังกล่าวสำหรับฮอร์โมนออกซิน และไซโตไคนินจะแตกต่างกัน ดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิน (IAA)

ในวันที่ทำการควั่นกิ่ง (วันที่ 0) ใบพืชของทุกกรรมวิธีอยู่ในระยะใบเพสลาด ปริมาณ IAA ในใบของทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกัน จากนั้นปริมาณ IAA ในใบของกรรมวิธีควบคุม (control) จะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 21 ซึ่งอยู่ในระยะแตกใบอ่อนครั้งที่ 1 และจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนถึงวันที่ 49 ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2-5 พบว่าส่วนยอดจะพักตัว ไม่มีการแตกใบอ่อน แต่จะออกดอก ปริมาณ IAA ในใบจะลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่แตกใบอ่อน ส่วนผลกระทบของกรรมวิธีศึกษา

ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ IAA ในตายอด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับเนื้อเยื่อใบดังกล่าวข้างต้น (ภาพที่ 3)

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไซโตไคนิน (iP/iPA และ Z/Zr)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไซโตไคนินทั้ง iP/iPA และ Z/Zr (ภาพที่ 4) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และสอดคล้องกับพัฒนาการของตายอดของต้นลิ้นจี่ โดยในกรณีของ iP/iPA พบว่า ในวันที่ 0 ทั้งใบและตายอดมีระดับ iP/iPA ของทุกกรรมวิธีอยู่ในระดับต่ำมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นในช่วงเวลาระหว่างวันที่ 21-49 หลังการควั่นกิ่ง ปริมาณ iP/iPA ในใบและตายอดของกรรมวิธีที่ 1 (กรรมวิธีควบคุม) เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย และมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดการทดลอง ในขณะที่ปริมาณ iP/iPA ของกรรมวิธีที่ 2-5 จะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรรมวิธีควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เริ่มตั้งแต่วันที่ 21 หลังควั่นกิ่ง และจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 49 หลังควั่นกิ่ง ส่วน Z/Zr ในกรรมวิธีที่ 2-5 ไซโตไคนินจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 21 หลังควั่นกิ่ง ทั้งในใบและตายอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรรมวิธีที่ 5 จะมีปริมาณ Z/Zr เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่นที่มีการออกดอกเช่นเดียวกัน

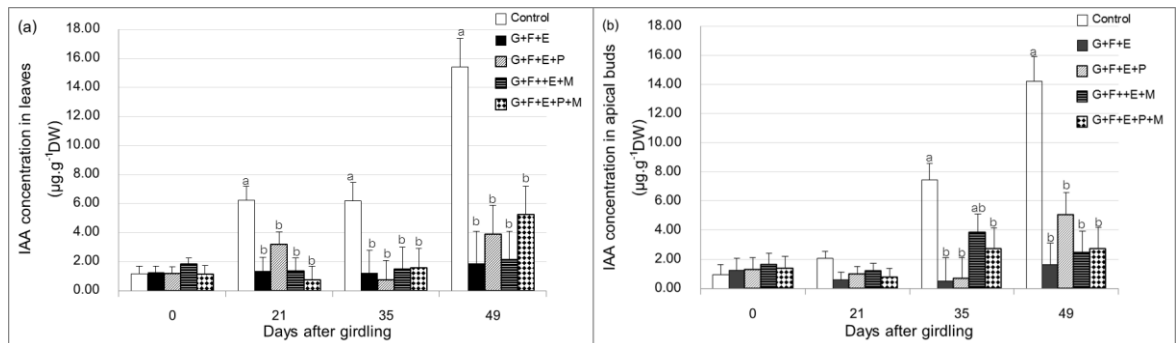


Figure 3. IAA concentration in leaves (a) and apical buds (b) as affected by girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and/or mepiquat chloride

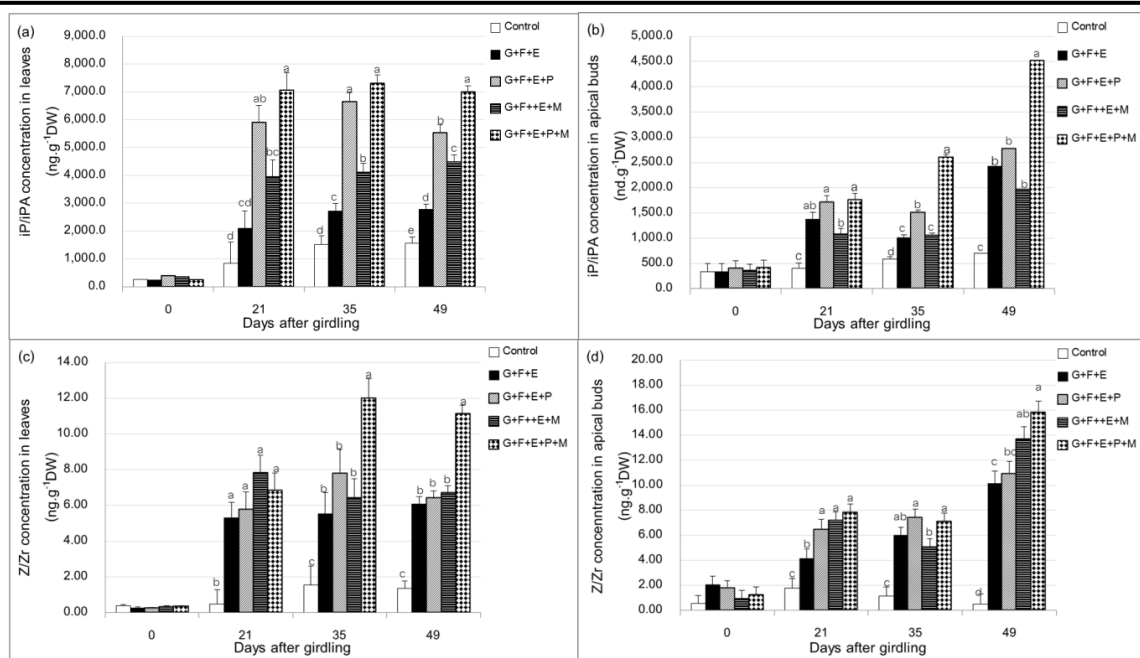


Figure 4. Changes of iP/iPA (a-b) and Z/Zr (c-d) concentration in leaves and apical buds as affected by girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and/or mepiquat chloride

วิจารณ์

1. แนวทางการใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินเพื่อส่งเสริมการออกดอกของลิ้นจี่

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาสามสิบปีที่ผ่านมา การผลิตลิ้นจี่ในประเทศไทยนิยมการควั่นกิ่งในระยะก่อนการออกดอกเพื่อกระตุ้นให้ต้นพืชออกดอกติดผลได้ดีขึ้น ซึ่งก็เป็นคำแนะนำจากการวิจัยที่พบว่า การควั่นกิ่งจะช่วยให้ต้นลิ้นจี่สะสมอาหารไว้เหนือรอยควั่น ทำให้ตายอดสมบูรณ์พร้อมที่จะตอบสนองต่ออากาศหนาวเย็นและออกดอกได้ดี (Chen *et al.*, 2016; Ding *et al.*, 2015) ต่อมาการใช้ปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสสูงมาส่งเสริมให้ไม้ผลออกดอกมากขึ้น เนื่องจากจะไปยับยั้งการแตกใบอ่อน ตายอดมีการพักตัว และมีการสะสมอาหารได้มากขึ้น ส่งผลให้ออกดอกได้ดี มีการประยุกต์ใช้อย่างประสบความสำเร็จในแปลงปลูกไม้ผลประเภทมะม่วง พุริณ มังคุด และไม้ผลเมืองหนาวบนพื้นที่ภูเขาอีกด้วย ซึ่งในกรณีของลิ้นจี่ นุติ และพิทยา (2554) และ อรทัย และคณะ (2555) พบว่า การควั่นกิ่ง และการพ่นทางใบด้วยปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เช่น 0-52-34 เข้มข้น

1 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกันเอทธิพอน 400-800 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถส่งเสริมการออกดอกของลิ้นจี่ที่ปลูกในพื้นที่ภูเขาได้ดีกว่ากรรมวิธีควั่นกิ่งและพ่นปุ๋ย 0-52-34 ทางใบ ในกรณีนี้สารเอทธิพอนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการควั่นกิ่งและปุ๋ยฟอสฟอรัสในการกระตุ้นตาออก โดยยังต้องมีสภาพอากาศหนาวเย็นร่วมด้วย

ดังได้กล่าวข้างต้น ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ภูเขาภาคเหนือของไทยมีความแปรปรวนมาก จึงทำให้ต้องมีการศึกษาแนวทางใหม่ ๆ ที่สามารถส่งเสริมการออกดอกของไม้ผลแม้ในสภาวะภูมิอากาศไม่เอื้ออำนวยอย่างที่กำลังเป็นอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งแนวทางหนึ่งที่ได้รับการยืนยันจากการทดลองนี้ คือ การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ประเภทพาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมะลิ-วรรณ และคณะ (2557) ที่พบว่า สารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน และคลอไมควอทคลอไรด์สามารถชะลอการแตกใบและส่งเสริมการออกดอกได้ในมะม่วง Zhang *et al.* (2016) รายงานสารเหล่านี้นอกจากจะชะลอการสร้างจิบเบอเรลลินแล้วยังส่งผลลดการสะสมออกซินในเนื้อเยื่อพืชด้วย สารเหล่านี้จะลดการสร้างจิบเบอเรลลินด้วย

เช่นกัน แต่มีกระบวนการการทำงานแตกต่างกัน โดยพาโคลบิวทราโซลเป็นสารในกลุ่ม triazoles ที่มีผลยับยั้งกระบวนการออกซิเดชันของ ent-kaurene เป็น ent-kaureic acid ที่กระตุ้นโดย P450 monooxygenases ในกระบวนการสังเคราะห์ GA₃ ในระยะที่ 2 ทำให้ไม่มีการสร้าง GA₁₂-aldehyde ในขณะที่เมพิควาโทคลอไรด์เป็นกลุ่มสารประกอบพวก onium มีผลยับยั้งกระบวนการสร้าง GA₃ ในขั้นตอนการเปลี่ยน geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP) ไปเป็น ent-kaurene โดยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ copalyl diphosphate synthase และ ent-kaurene synthase (Rademacher, 2000)

สำหรับผลของสารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินต่อพฤติกรรมการออกดอกของลิ้นจี่ พบว่า กรรมวิธีที่ 3 จะมีเปอร์เซ็นต์การออกดอกไม่แตกต่างกันกับกรรมวิธีที่ 2 โดยกรรมวิธีที่สามารถส่งเสริมการออกดอกได้ดี คือ กรรมวิธี 4 และ 5 ที่สามารถส่งเสริมการออกดอกได้สูงที่สุดถึง 80.00 เปอร์เซ็นต์ และมีช่อดอกสั้นสูงที่สุดถึง 81.81 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของพาโคลบิวทราโซลไม่เด่นชัดในการทดลองนี้ น่าจะมาจากวิธีการใช้สารที่เป็นกรดไขมันให้ทางใบ ปกติสารพาโคลบิวทราโซลจะถูกดูดซับได้ดีด้วยระบบราก และเคลื่อนที่เข้าสู่ส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชผ่านทางท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ได้ดีกว่าการดูดซึมทางใบ จึงทำการให้การรดทางดินมีประสิทธิภาพการยับยั้งการแตกใบอ่อนได้ดีกว่าการพ่นทางใบ (จริญญา และครุณี, 2553)

2. ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนพืชที่สัมพันธ์กับพัฒนาการของตายอดและการออกดอก

โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่า กรรมวิธีที่ 5 (G+F+E+M+P) ให้ผลดีที่สุดในการส่งเสริมการออกดอกของลิ้นจี่พันธุ์สงขลานครินทร์ที่ปลูกบนพื้นที่ภูเขาในจังหวัดเชียงใหม่ ด้วยกรรมวิธีดังกล่าวต้นลิ้นจี่สามารถออกดอกได้ดีมากแม้อุณหภูมิอากาศจะไม่หนาวเย็น (โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 23.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 39.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 17.6 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้โดยกรรมวิธีที่จัดการต้นพืชดังกล่าวข้างต้นจะไม่มีผลต่อทั้งพัฒนาการของตายอดและการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนในเนื้อเยื่อพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย

ในภาพที่ 5 เป็นการนำรูปแบบการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมน IAA และไซโตไคนินของใบและตายอดของกรรมวิธีที่ไม่ออกดอก (กรรมวิธีควบคุม) มาเปรียบเทียบกับที่ออกดอกดีที่สุด (กรรมวิธีที่ 5 G+F+E+M+P) จะเห็นได้ว่าในกรณีของกรรมวิธีควบคุม ที่มีการผลิทยอดใหม่ในวันที่ 21 หลังเริ่มการทดลอง และตายอดจะยืดยาวเป็นใบอ่อนชัดเจนในวันที่ 35 โดยปริมาณ IAA ทั้งในใบและในตายอดเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องจนถึงวันที่ 49 และมีปริมาณสูงกว่าในเนื้อเยื่อจากต้นที่มีการออกดอกดีที่สุด (กรรมวิธีที่ 5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นที่น่าสังเกตว่าในวันที่ 21 หลังการควั่นกิ่งที่ตรงกับ การแตกใบอ่อนชุดที่ 1 ปริมาณ IAA จะเริ่มเพิ่มมากขึ้นในใบก่อน ต่อมาในวันที่ 35-49 จึงเพิ่มมากขึ้นในตายอด ผลการทดลองนี้ยืนยันรายงานของ

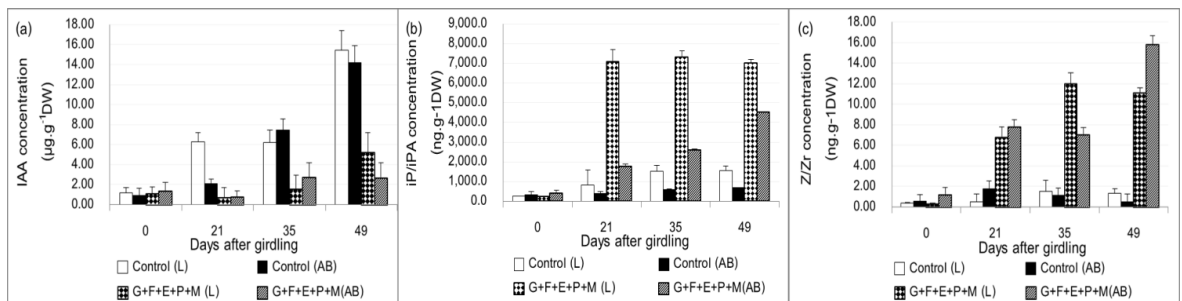


Figure 5. Changes of auxin (a) and cytokinin (iP/iPA; b and Z/Zr; c) in leaf (L) and apical bud (AB) of flushing treatment (control) and flowering treatment as affected by girdling plus foliar fertilizer and paclobutrazol and mepiquat chloride (G+F+E+P+M)

Charoenkit *et al.* (2015) ที่กล่าวว่า IAA จะเริ่มสังเคราะห์ที่ใบอ่อนแล้วส่งออกไปยังตายอด ในส่วนของผลกระทบของกรรมวิธีศึกษาต่อการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนไซโตไคนินพบว่า ในกรรมวิธีควบคุม ต้นลั่นจี่สังเคราะห์และสะสมไซโตไคนินในใบและตายอดน้อยมาก ทั้งในรูป iP/iPA และรูป Z/Zr และไม่แตกต่างกันในวันที่ 0 ในทางกลับกันในการกรรมวิธีที่ออกดอก ตั้งแต่เมื่อ 21 วันหลังควั่น (ตายอดพักตัว) ไปจนถึงวันที่ 35-49 (ตายอดเริ่มมีการบวมเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้ม และมีการแตกตาข้างจำนวนมาก) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของไซโตไคนินทั้ง 2 รูปแบบต่อเนื่อง โดยมีแนวโน้มค่อนข้างชัดเจนว่ารูป iP/iPA จะเพิ่มขึ้นในใบมากกว่าในตาดอก และในปริมาณค่อนข้างมากตั้งแต่วันที่ 21 หลังควั่นถึง ส่วนรูป Z/Zr จะเพิ่มช้ากว่า และจะเพิ่มมากที่ตายอดมากกว่าที่ใบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันที่ 49 ที่พบการพัฒนาของตายอดไปเป็นตาดอกเรียบร้อยแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Potchanasin *et al.* (2009) และ Sringarm *et al.* (2009) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของ Z/Zr มักจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ iP/iPA ที่สะสมอยู่ในใบแก่ และเคลื่อนที่ไปยังตายอดผ่านท่ออาหารเพื่อเปลี่ยนรูปจาก iP/iPA ไปเป็น Z/Zr โดย iP/iPA จะถูกไฮโดรไลซ์บริเวณ isoprenoid side chain ด้วยเอนไซม์ cytochrome P450 monooxygenase และเอนไซม์ชนิดนี้ต้องการ NADPH เป็น co-factor อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Z/Zr ที่ปลายยอดและใบอาจเกิดจากการไฮโดรไลซ์ไซโตไคนินที่จับกับสารโมเลกุลอื่นในรูป conjugated form (inactive cytokinin) ให้อยู่ในรูป active cytokinin ซึ่งน่าจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดต่อกระบวนการส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงตายอดให้พัฒนาไปเป็นตาดอกได้

3. แนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการออกดอกของลั่นจี่พันธุ์อื่น และไม้ผลชนิดอื่น ๆ

ในกรณีของลั่นจี่ในการทดลองนี้ ได้แสดงให้เห็นถึงชุดการจัดการเพื่อส่งเสริมการออกดอกที่ประสบผลสำเร็จ ประกอบด้วย การควั่นกิ่ง ร่วมกับพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ผสมเอทธิฟอน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พาโคลบิวทราโซล 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมพิควอทคลอไรด์ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ส่งผลชัดเจนในการยับยั้งการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ

ส่งเสริมให้ตายอดมีระยะเวลาในการพักตัว เพื่อเตรียมพร้อมต่อการออกดอก โดยพาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ มีผลต่อการลดการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินที่ส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อเนื่องไปทำให้ปริมาณออกซิน (IAA) ลดลง ซึ่งชุดของการจัดการดังกล่าวนี้จะใช้ได้กับลั่นจี่พันธุ์อื่น ๆ ด้วย แต่ในกรณีที่ต้องการนำไปใช้กับไม้ผลชนิดอื่น อาจมีประเด็นที่จะต้องพิจารณาความเหมาะสมใน 2 ส่วน ได้แก่ ความสามารถของไม้ผลชนิดนั้นในการฟื้นฟูตนเองจากการควั่นกิ่ง เช่น การสมานแผลการควั่นเป็นต้น อีกประเด็นหนึ่ง คือ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของเอทธิฟอน พาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ ซึ่งน่าจะแตกต่างกันไปในระหว่างไม้ผลแต่ละชนิด

สรุป

การใช้สารยับยั้งการสังเคราะห์จิบเบอเรลลิน ได้แก่ พาโคลบิวทราโซล และเมพิควอทคลอไรด์ ส่งผลให้ต้นลั่นจี่ออกดอกได้ดียิ่งขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคม แต่ต้องใช้ร่วมกับการควั่นกิ่ง และฉีดพ่นทางใบด้วยปุ๋ย 0-52-34 ผสมกับเอทธิฟอน โดยกรรมวิธีดังกล่าวสามารถชะลอการผลิยอดใหม่ ลดการสังเคราะห์และสะสมออกซิน ในขณะที่ยังส่งเสริมการสร้างและสะสมไซโตไคนินรูป iP/iPA และรูป Z/Zr ที่ใบและที่ตายอดให้เพิ่มสูงขึ้น จนสามารถเปลี่ยนตายอดจากตาใบไปสร้างเป็นจุดกำเนิดตาดอกและพัฒนาไปเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษากระทรวงศึกษาธิการ (AG-BIO/PERDO-CHE)

เอกสารอ้างอิง

จริญญา ปัญญาแก้ว และ ดรุณี นาพรหม. 2553. ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชต่อการออก

- ดอกนอกฤดู และคุณภาพของส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง. วารสารเกษตร 26(ฉบับพิเศษ): 117-125.
- จิราภรณ์ อินทสาร, ฉัตรวิทย์ เดชจิรตันศิริ และ ประวิทย์ บุญมี. 2560. ผลของแบคทีเรียที่ผลิตสาร indole-3-acetic acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของพริกชี้หนู. วารสารเกษตร 33(3): 333-344.
- ฉันทรัตน์ วงเวียน และ ดร.ณิ นภาพร. 2559. ผลของพาโคลบิวทราโซลต่อการเจริญเติบโตทางกิ่งใบของมะนาว. วารสารเกษตร 32(3): 321-329.
- นุติ เจริญกิจ และ พัทธยา สรวมศิริ. 2554. ผลของการควั่นกิ่ง โมนิโพแทสเซียมฟอสเฟต และเอทิลฟอนต่อการออกดอกนอกฤดูของลิ้นจี่พันธุ์สงขลานครินทร์พันธุ์สูง. วารสารเกษตร 27(1): 19-25.
- ปริญญาภรณ์ วิโรจน์สกุล. 2552. การผลิตโมโนโคลนอลแอนติบอดีต่อต้านซีเอตินโรโบไซด์เพื่อใช้ในการตรวจวัดซีเอตินโรโบไซด์ในพืชโดยวิธีเอนไซม์ลิงค์อิมมูโนซอร์เบนท์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 79 หน้า.
- มะลิวรรณ นาดี นุติ เจริญกิจ พัทธยา สรวมศิริ และ ดร.ณิ นภาพร. 2557. ผลของเมพิควอทคลอไรด์ คลอร์มีควอทคลอไรด์ และพาโคลบิวทราโซลต่อการออกดอกของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทอง. วารสารเกษตร 30(3): 271-279.
- อรทัย ธัญชัย นุติ เจริญกิจ และ พัทธยา สรวมศิริ. 2555. ผลของการควั่นกิ่ง และการพ่นปุ๋ยทางใบด้วยโมนิโพแทสเซียมฟอสเฟตและเอทิลฟอนต่อการออกดอกของลิ้นจี่พันธุ์สงขลานครินทร์พันธุ์จักรพรรดิ. วารสารเกษตร 28(2): 145-153.
- Charoenkit, N., D. Naphrom, P. Srumsiri, K. Sringsarm and S. Fukuda. 2015. Modeling the relationship between hormone dynamics and off-season flowering of litchi by using random forests. Agriculture and Agricultural Science Procedia 5: 9-16.
- Chen, P-A, S-F. Roan, C-L Lee and I-Z Chen. 2016. Temperature model of litchi flowering - from induction to anthesis. Scientia Horticulturae 205: 106-111.
- Ding, F., S. Zhang, H. Chen, Z. Su, R. Zhang, Q. Xiao and H. Li. 2015. Promoter difference of LcFT1 is a leading cause of natural variation of flowering timing in different litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn.). Plant Science 241: 128-137.
- Johansen, D. A. 1940. Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. 523 p.
- Kang, J., Y. Lee, H. Sakakibara and E. Martinoia. 2017. Opinion cytokinin transporters: go and stop in signaling. Trends in Plant Science 22(6): 455-461.
- Moreira, R.D., D.R. Fernandes, M. do C.M. da Cruz, J.E. Lima and A.F. de Oliveira. 2016. Water restriction, girdling and paclobutrazol on flowering and production of olive cultivars. Scientia Horticulturae 200: 197-204.
- Potchanasin, P., K. Sringsarm, P. Srumsiri and K.F. Bangerth. 2009. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and sub-apical tissue. Scientia Horticulturae 122: 288-294.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: effects of gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 51: 501-531.
- Sringsarm, K. 2008. Participation of correlative hormonal signals in the floral induction of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees induced by the application of potassium

- chlorate. Ph.D. Thesis, University of Hohemheim, Stuttgart. 110 p.
- Sringarm, K., P. Potchanasin, P. Srumsiri and K.F. Bangerth. 2009. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) tress - the possible participation of endogenous hormones II. Low temperature and potassium chlorate effects on hormone concentrations in and their export out of leaves. *Scientia Horticulturae* 122: 295-300.
- Zhang, S., D. Zhang, S. Fan, L. Du, Y. Shen, L. Xing, Y. Li, J. Ma and M. Han. 2016. Effect of exogenous GA₃ and its inhibitor paclobutrazol on floral formation, endogenous hormones, and flowering-associated genes in 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.). *Plant Physiology and Biochemistry* 107: 178-186.
-